

# РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАЦИИ ПРИ НАРУШЕНИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ СТЕПАНОВА МЕЖДУ СПЕКТРАМИ ПОГЛОЩЕНИЯ И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЛОЖНЫХ МОЛЕКУЛ

И. КЕЧКЕМЕТИ, Л. П. ЕЖОВА, Л. КОЗМА, А. Н. РУБИНОВ

Институт экспериментальной физики Университета им. Агиллы Йожефа, Сегед;  
Институт физики АН БССР, Минск

(Поступило в редакцию 25 июня 1973 г.)

Авторы исследовали совпадение лазерных параметров, полученных расчётами, используя разные аналитические выражения для спектров поглощения и люминесценции. Показано, что на основе тех формул лазерных параметров, которые содержат и спектр флуоресценции, получаются между собой хорошо совпадающие результаты.

Для расчета спектральных свойств излучения лазера на красителях необходимо знать спектр его усиления [1]:

$$K_{yc1}(\nu) = \frac{h\nu}{v} [n_3 B_{31}(\nu) - n_1 B_{13}(\nu)] \quad (1)$$

Коэффициент усиления зависит от населенностей уровней основного и возбужденного состояний  $n_1$  и  $n_3$  и коэффициентов Эйнштейна для вынужденного испускания и поглощения  $B_{31}(\nu)$  и  $B_{13}(\nu)$ . Для удобства расчетов часто используется связь между коэффициентами Эйнштейна

$$\frac{B_{13}(\nu)}{B_{31}(\nu)} = e^{-\frac{h(\nu_{эл}-\nu)}{kT}} \quad (2)$$

по существу представляющая собой видоизмененное по форме универсальное соотношение Степанова между спектрами поглощения и испускания сложных молекул [2].

Подставляя (2) в (1) можно получить две формулы для коэффициента усиления:

$$K_{yc2}(\nu) = \frac{h\nu}{v} B_{31}(\nu) [n_3 - n_1 e^{-\frac{h(\nu_{эл}-\nu)}{kT}}] \quad (3)$$

$$K_{yc3}(\nu) = \frac{h\nu}{v} B_{13}(\nu) [n_3 e^{-\frac{h(\nu_{эл}-\nu)}{kT}} - n_1] \quad (4)$$

Для расчета по первой из них необходимо знать спектральный контур  $B_{31}(\nu)$ ,

который определяется из спектра люминесценции вещества, а для расчета по второй — контур  $B_{13}(v)$ , однозначно определяемый из спектра поглощения.

Если универсальное соотношение Степанова выполняется строго, то результаты расчета по формулам (3) и (4), разумеется, совпадают. Однако в ряде работ показано, что универсальное соотношение может в большей или меньшей степени нарушаться [3—6] в таких случаях остается неясным, можно ли для анализа и численных расчетов характеристик генерации красителей пользоваться формулами (3) и (4) и в какой мере результаты этих расчетов будут отличаться от результатов расчетов по формуле (1).

В данной работе этот вопрос рассматривается на примере широко распространенного лазерного красителя — родамина Б. Спектры  $B_{13}(v)$  и  $B_{31}(v)$  этого красителя задавались аналитически.

В литературе имеется несколько способов аналитического описания кривых люминесценции и поглощения. В большинстве своем они громоздки и содержат множество параметров, которые нужно определять независимо друг от друга из различных экспериментов. Мы воспользовались аналитическими зависимостями для спектров поглощения и люминесценции, предложенными в работах [7, 8]. Эти формулы достаточно просты и хорошо согласуются с экспериментальными данными. Согласно этим работам спектральный контур коэффициентов Эйнштейна для поглощения и вынужденного испускания можно представить в виде

$$B_{31}(v) = Be^{-b_1 v} \operatorname{sech} [a_1(v - v_{01})] \quad (5)$$

$$B_{13}(v) = Ae^{b_2 v} \operatorname{sech} [a_2(v_{02} - v)] \quad (6)$$

где  $b_i \approx \frac{h}{2kT}$ , — характеризует ширину полос и определяется из условий эксперимента,  $A$  и  $B$  — эмпирические постоянные. Универсальное соотношение Степанова выполняется только в том случае, когда  $b_1 = b_2$ ,  $a_1 = a_2$ ,  $v_{01} = v_{02}$ . Однако, выражения (5) и (6) хорошо совпадают с соответствующими экспериментальными функциями лишь при  $b_1 \neq b_2$ ,  $a_1 \neq a_2$ ,  $v_{01} \neq v_{02}$ . В частности, для родамина Б необходимо использовать величины  $b_1 = 7,59 \cdot 10^{-14} \text{сек}$ ,  $b_2 = 8,05 \cdot 10^{-14} \text{сек}$ ,  $a_1 = 10,37 \cdot 10^{-14} \text{сек}$ ,  $a_2 = 12,6 \cdot 10^{-14} \text{сек}$ ,  $v_{01} = 5,29 \cdot 10^{14} \text{гм}$ ,  $v_{02} = 5,33 \cdot 10^{14} \text{гм}$ . При этом условии результаты расчетов по формулам (1), (3) и (4) различаются. На рис. 1 приведены спектры усиления, вычисленные при разных величинах  $n_3/n_1$  всеми тремя способами. Из рисунка видно, что расчеты по формулам (1) и (3) дают сравнительно близкие результаты, особенно на длинноволновом участке полосы усиления. Существенное различие наблюдается лишь в коротковолновой части спектра. Расчет же по формуле (4) приводит к резкому искажению спектра усиления как по величине, так и по форме и расположению полосы в шкале частот.

Формулы (1), (3), (4) обычно используются для расчета частоты генерируемого излучения. В квазистационарном приближении без учета поглощения из метастабильного состояния частота генерации  $\nu_r$  может быть найдена из системы уравнений [9]:

$$\frac{\partial(K_{yc}(v) - K_{пот}(v))}{\partial v} = 0 \quad (7)$$

$$K_{yc}(v) = K_{пот}(v)$$

Результаты расчета  $\nu_r$  различаются в зависимости от того, какое из выражений (1), (3), (4) подставляется в (7). Зависимости частоты генерации от концентрации молекул и коэффициента потерь резонатора представлены на рис. 2 и 3. Из рисунков видно, что при использовании вместо (1) формулы (3) и особенно формулы (4) получаемые значения частот и характер зависимостей

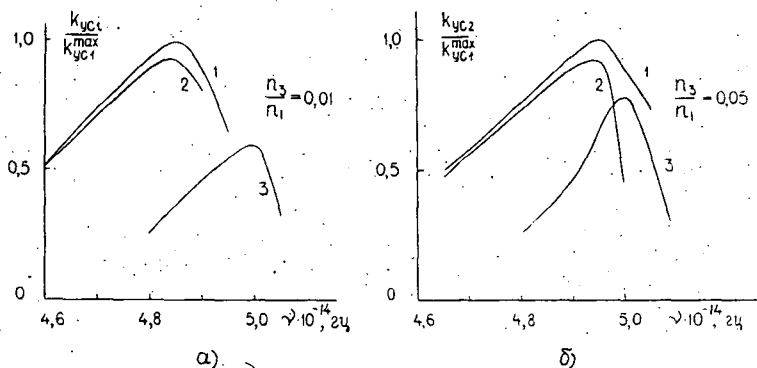


Рис. 1а, б Зависимость коэффициента усиления  $K_{yc}$  растворов родамина Б от частоты при различных отношениях  $\frac{n_3}{n_1}$ :

а)  $\frac{n_3}{n_1} = 0,01$ ;    б)  $\frac{n_3}{n_1} = 0,05$ .

Кривая 1 рассчитана по формуле (3);  
 кривая 2 рассчитана по формуле (1);  
 кривая 3 рассчитана по формуле (4);

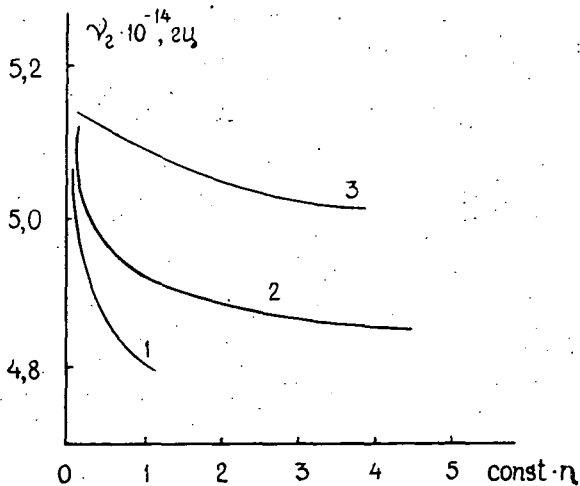


Рис. 2. Зависимость частоты генерации  $\nu_{ген}$  от концентрации молекул родамина Б. Кривая 1 рассчитана по формуле (3); кривая 2 рассчитана по формуле (1); кривая 3 рассчитана по формуле (4).

существенно искажаются. Это обстоятельство надо иметь в виду при сопоставлении экспериментальных и расчетных данных особенно при определении тех или иных параметров лазера по характеристикам его генерации. Так, например, если находить коэффициент потерь лазера по частоте генерации, то использование кривой 3 вместо кривой 1 на рис. 3 может дать значение  $K_{\text{пот}}$ , более чем в 5 раз превышающее истинное.

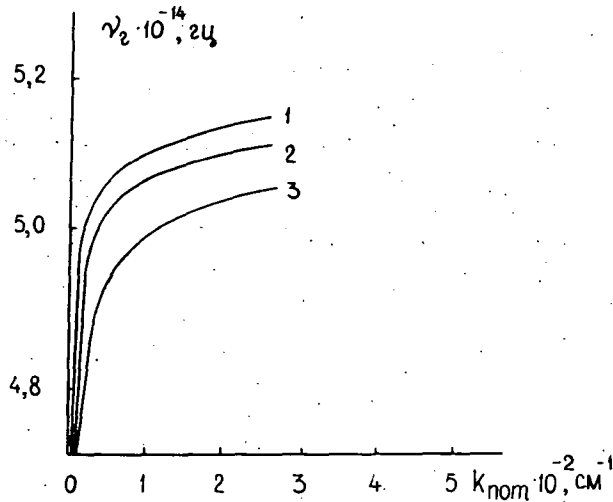


Рис. 3. Зависимость частоты генерации  $\nu_{\text{ген}}$  от коэффициента потерь  $K_{\text{пот}}$ .  
Кривая 1 рассчитана по формуле (3);  
кривая 2 рассчитана по формуле (1);  
кривая 3 рассчитана по формуле (4).

#### Литература

- [1] Степанов Б. И., Рубинов А. Н.: УФН, вып. 1, 1968.
- [2] Степанов Б. И., Казаченко Л. П.: ДАН СССР, 112, 1027, 1957.
- [3] Бахшиев Н. Г., Питерская И. В., Алтайская А. В.: Опт. и спектр. 1970, 28, № 5.
- [4] Гладченко Л. Ф., Пикулик Л. Г.: ЖПС, 1970, 12, ПЗ.
- [5] Бахшиев Н. Г., Питерская И. В., Студенов В. И.: Опт. и спектр. 1969, 27, № 2.
- [6] Степанов Б. И., Казаченко Л. П.: ЖПС, 14, № 5.
- [7] Dombi J., Ketskeméty I., Kozma L.: Acta Phys. et Chem. 10. 1 (1964).
- [8] Кечкемети И., Козма Л., Хевеши Я.: Acta Phys. et Chem. 12. 3 (1966).
- [9] „Методы расчёта оптических квантовых генераторов” под редакцией Б. И. Степанова, т. 1, Минск, „Наука и техника”, 1966.

#### CALCULATION OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF LASERS IN CASE OF DEVIATION FROM STEPANOV'S UNIVERSAL RELATION BETWEEN ABSORPTION AND LUMINESCENCE SPECTRA OF COMPLICATED MOLECULES

I. Ketskeméty, L. P. Ezhova, L. Kozma, A. N. Rubinov

The authors studied the problem as to how much the laser parameters obtained by calculation in different ways are in agreement with each other. It results that the formulas containing also emission spectrum give results which are in good accordance.